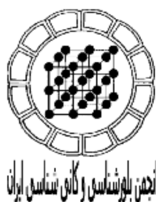
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارۀ چهارم، زمستان ۹۵، از صفحۀ ۷۱۵ تا ۷۳۰



شیمی کانی و دما-فشارسنجی زینولیت‌های دمای بالا در حاشیه توده ریوداسیتی منطقه‌ی آستانه (جنوب غرب اراک)

زهرا طهماسبی*، احمد احمدی خلجی، عارفه حیدریان منش

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۱۳، نسخه نهایی: ۹۵/۳/۳)

چکیده: در منطقه‌ی آستانه، (جنوب غرب اراک) و در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی، زینولیت‌هایی با ترکیب رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس دیده شده‌اند. این سنگ‌ها دارای مجموعه کانیایی کرندوم + اسپینل + آندالوزیت + فلدسپارپتاسیم‌دار + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بیوتیت + کلریت بوده و حاوی بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیرولپیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک هستند. در این مجموعه بافت واکنشی (سیمپلکتیک)، کانی‌های اسپینل- پلاژیوکلاز- بیوتیت جایگزین آندالوزیت شده است. شواهد سنگ‌نگاری در این سنگ‌ها بیانگر این است که بافت واکنشی حاشیه‌ی آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی ایجاد شده است. شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی نیز حاکی از این است که پیرومتامورفیسم مسئول پیدایش این مجموعه کانی‌های شاخص بوده است. بررسی‌های صحرایی، شواهد سنگ‌نگاری و دما – فشارسنجی (گستره‌ی دمایی $718^{o}C$ و فشار ۲٫۸kbar) این سنگ‌ها نشان می‌دهد که علت پایداری آندالوزیت تا منطقه‌ی کرندوم-اسپینل در زینولیت‌های مورد بررسی، نرخ گرم شدگی سریع این سنگ‌ها و برهم‌چینی پله‌ای (overstepping) است. انتشار گرمای ناشی از شبه آتشفشانی‌های ریوداسیتی سبب فرآیند پیرومتامورفیسم شده است به‌طوری که دوره دمایی تحمیل شده به این زینولیت‌ها کم و نرخ گرم شدگی زیاد بوده است.

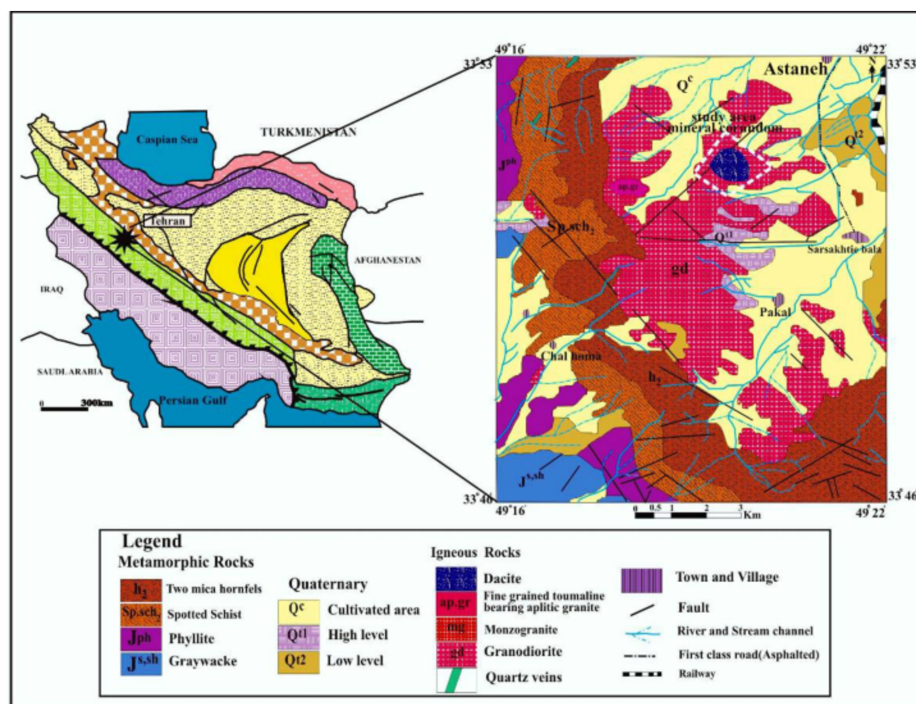
واژه‌های کلیدی: *کرندوم؛ پیرومتامرفیسم؛ بافت‌های واکنشی؛ اراک.*

مقدمه

منطقه‌ی مورد بررسی در استان مرکزی و در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان اراک و ۶ کیلومتری جنوب آستانه بین طول‌های جغرافیایی "۱۵ '۱۶ ^{o}۴۹ تا "۰۰ '۲۲ ^{o}۴۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی"۱۰ '۴۶ ˚۳۳ تا '۵۳ ˚۳۳ شمالی با وسعت تقریبی ۳۰ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه از نظر زمین‌ساختی بخشی از پهنه‌ی سنندج- سیرجان بوده که جایگیری توده‌های گرانیتوئیدی در تکامل ساختاری آن نقش بسزایی داشته است [1] (شکل ۱). تزریق توده‌های گرانیتوئیدی آستانه به سن ژوراسیک میانی [2] در سنگ‌های رسوبی دگرگون شده‌ی تریاس‌فوقانی- ژوراسیک زیرین سبب دگرگونی مجاورتی به صورت شیست‌های لکه‌دار و هورنفلس شده است [3]. سنگ‌های دگرگونی موجود در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی پلیتی بود که از دو گروه سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای (اسلیت، فیلیت و میکاشیست) در حد رخساره‌ی شیست‌سبز و سنگ‌های دگرگون مجاورتی (شیست های لکه‌دار تا هورنفلس) در حد رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس هستند [4]. در جنوب غرب اراک در حاشیه توده‌ی ریوداسیتی (شکل ۲)، زینولیت‌هایی با ترکیب کانی‌شناسی رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس وجود دارد که در اینجا مورد توجه قرار گرفته‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی و دما- فشارسنجی در تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر دگرگونی، یکی از روش‌های مهم و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۶۳۳۱۲۰۶۱۱، پست الکترونیکی: zahra_tak@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]



شکل ۱ نقشه‌ی ساده شده‌ی زمین‌شناسی منطقه (برگرفته از نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ شازند،[۵] و موقعیت آن در پهنه‌ی سنندج- سیرجان).



شکل ۲ تصویر صحرایی از توده‌ی ریوداسیتی منطقه آستانه (دید به سمت جنوب غرب).

اساسی در بررسی سنگ‌های دگرگون و بررسی شرایط ترمودینامیکی حاکم بر رخدادهای دگرگونی است. لذا هدف از ارائه‌ی این مقاله بررسی رخداد دگرگونی، شکل‌گیری‌های سنگ‌شناسی و تعیین شرایط دما و فشار حاکم بر زینولیت‌های موجود در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی آستانه با استفاده از شیمی کانی‌های کرندوم، اسپینل، آندالوزیت، مسکوویت، بیوتیت، کلریت، فلدسپار پتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز است.

روش بررسی

طی بررسی‌های صحرایی منطقه‌ی آستانه، با توجه به تغییرات سنگ‌شناختی و ویژگی‌های فیزیکی، بیش از ۴۰ نمونه برداشت شده‌اند و برای بررسی بافت‌ها و کانی‌ها از نمونه‌ها مقطع‌نازک و برای پی‌بردن به نوع کانی‌های موجود در سنگ‌ها و تعیین دما – فشار آنها مقطع نازک‌صیقلی تهیه‌شد و آنالیز نقطه‌ای با JXA-8200 Super Prob در آزمایشگاه دانشگاه هلوا اسپانیا به عمل آمد (جدول ۱ تا ۸). فرمول کانی‌ها برای کلریت براساس ۱۴ اکسیژن، کرندوم ۶ اکسیژن، اسپینل ۳۲ اکسیژن، بیوتیت ۱۱ اکسیژن، مسکوویت ۱۱ اکسیژن، آندالوزیت ۵ اکسیژن و پلاژیوکلاز برپایه ۸ اکسیژن محاسبه شدند.

جدول۱ نتایج بررسی نقطه‌ای کرندوم در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS12-37	AS17-7	AS17-7
Analysis	113	114	147	67	68	3	4
mineral	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn
SiO_2	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۴۱۷	۰/۱۶۹	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳
Al_2O_3	۹۹/۷۱	۹۸/۸۶	۹۹/۰۴	۱۰۱/۰۷	۱۰۰/۱۴	۹۸/۴۵	۹۷/۹۸
TiO_2	۰/۵۰	۰/۴۴	۱/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۳
FeO	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۶
Total	۱۰۰/۷۳۸	۹۹/۶۹۳	۱۰۰/۶۸۲	۱۰۱/۷۸۵	۱۰۰/۶۷۴	۹۸/۸۲	۹۸/۴۰۳
O #	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Al	۳/۳۳۱	۳/۳۱۴	۳/۲۸۹	۳/۳۱۳	۳/۳۲	۳/۳۲۶	۳/۳۲۴
Ti	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
Fe^{2+}	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶
Total	۳/۳۳۴	۳/۳۳۳	۳/۳۲۶	۳/۳۳۱	۳/۳۳۴	۳/۳۳۵	۳/۳۳۴

ادامه جدول ۱

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	3	4	80	82	84	85	92	96	109	110	112
mineral	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn	Crn
SiO_2	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۰
Al_2O_3	۹۸/۴۵	۹۷/۹۸	۹۹/۰۵	۹۹/۲۸	۹۸/۹۴	۹۹/۰۵	۹۸/۷۳	۱۰۰/۰۱	۱۰۰/۱۱	۹۹/۵۰	۹۹/۵۳
TiO_2	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۳۵	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۴	۰/۵۱	۰/۳۴
FeO	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۲۰	۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۴۳
Total	۹۸/۸۳	۹۸/۴	۹۹/۵۲	۹۹/۵۸	۹۹/۶۷	۹۹/۲۶	۹۹/۵۲	۱۰۰/۴۲	۱۰۰/۷۲	۱۰۰/۵۱	۱۰۰/۳۱
O #	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰
Al	۳/۳۳	۳/۳۱	۳/۳۲	۳/۳۳	۳/۳۲	۳/۳۳	۳/۳۲	۳/۲۴	۳/۳۲	۳/۳۱	۳/۳۲
Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷
Fe^{2+}	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱
Total	۳/۳۳۶	۳/۳۲۳	۳/۳۳۵	۳/۳۳۵	۳/۳۳۴	۳/۳۳۵	۳/۳۳۷	۳/۳۳۴	۳/۳۳۵	۳/۳۳۳	۳/۳۳۴

جدول ۲ نتایج آنالیز نقطه‌ای آندالوزیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-3	AS17-3
Analysis	31	141	142	143	144	165	166	168	172	143	144
mineral	And	And	And	And	And	And	And	And	And	And	And
SiO_2	۳۶/۴۳	۳۶/۲۲	۳۶/۵۲	۳۶/۷۱	۳۶/۵۵	۳۶/۵۵	۳۶/۲۱	۳۹/۳۰	۳۶/۵۶	۳۶/۷۱	۳۶/۵۵
Al_2O_3	۶۲/۹۲	۶۳/۵۰	۶۳/۸۱	۶۳/۱۹	۶۳/۲۱	۶۴/۱۳	۶۴/۰۷	۵۹/۶۲	۶۴/۲۵	۶۳/۱۹	۶۳/۲۱
FeO	۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۴۹	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۱۶
Total	۹۹/۶۷	۱۰۰/۱۴	۱۰۱	۱۰۰/۳۲	۱۰۰/۱۲	۱۰۱/۰۶	۱۰۰/۹۰	۱۰۱/۴۰	۱۰۱/۲۴	۱۰۰/۳۲	۱۰۰/۱۲
O #	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
Si	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۱/۰۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹
Al	۲/۰۱	۲/۰۲	۲/۰۲	۲/۰۱	۲/۰۱	۲/۰۲	۲/۰۳	۱/۸۹	۲/۰۲	۲/۰۱	۲/۰۱
Total	۳	۳/۰۱	۳/۰۲	۳	۳/۰۱	۳/۰۱	۳/۰۲	۳/۰۳	۳/۰۱	۳	۳/۰۱

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

جدول ۳ نتایج آنالیز نقطه‌ای اسپینل در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS12-37	AS12-37	AS17-3
Analysis	16	17	18	19	30	32	48	49	39	40	44	63
mineral	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl	Spl
SiO_2	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۱	۱٫۸۵
Al_2O_3	۵۸٫۲۲	۵۸٫۵۰	۵۸٫۴۴	۵۸٫۴۸	۶۱٫۲۸	۵۸٫۶۲	۵۸٫۹۹	۵۹٫۵۲	۶۰٫۲۳	۶۰٫۱۷	۶۰٫۱۵	۶۱٫۱۷
FeO	۳۳٫۶۹	۳۳٫۸۲	۳۴٫۰۸	۳۳٫۴۸	۳۱٫۷۳	۳۴٫۴۳	۳۴٫۹۹	۳۴٫۸۱	۳۳٫۸۵	۳۳٫۷۲	۳۲٫۷۲	۳۱٫۵۳
MnO	۰٫۴۵	۰٫۴۳	۰٫۴۱	۰٫۴۱	۰٫۴۳	۰٫۴۰	۰٫۴۲	۰٫۳۸	۰٫۴۵	۰٫۳۸	۰٫۳۷	۰٫۵۷
MgO	۵٫۵۳	۵٫۵۳	۵٫۵۳	۵٫۶۰	۶٫۰۹	۴٫۹۸	۴٫۰۶	۴٫۰۱	۵٫۲۰	۵٫۰۸	۵٫۰۳	۵٫۱۲
Total	۹۸٫۳۸	۹۸٫۷۰	۹۸٫۹۹	۹۸٫۴۴	۱۰۰٫۰۹	۹۸٫۹۳	۹۹٫۰۶	۹۹٫۴۶	۱۰۰٫۱۹	۹۹٫۷۱	۹۸٫۷۶	۱۰۰٫۸۸
O #	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
Si	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۴۱
Al	۱۵٫۵۷	۱۵٫۶۱	۱۵٫۵۷	۱۵٫۶۲	۱۵٫۹۷	۱۵٫۶۵	۱۵٫۸۱	۱۵٫۸۸	۱۵٫۸۰	۱۵٫۸۰	۱۶٫۰۰	۱۵٫۹۱
$Fe^{(iii)}$	۰٫۳۳	۰٫۳۳	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰	۰٫۲۸	۰٫۱۱	۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰	۰
$Fe^{(ii)}$	۶٫۰۶	۶٫۰۸	۶٫۰۸	۶٫۰۵	۵٫۸۷	۶٫۲۵	۶٫۵۵	۶٫۵۷	۶٫۲۱	۶٫۲۳	۶٫۱۷	۵٫۸۱
Mn	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۰
Mg	۱٫۸۷	۱٫۸۷	۱٫۸۶	۱٫۸۹	۲٫۰۱	۱٫۶۸	۱٫۳۸	۱٫۳۵	۱٫۷۲	۱٫۶۹	۱٫۶۹	۱٫۶۸
Total	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴

جدول ۴ نتایج آنالیز نقطه‌ای فلدسپار پتاسیم‌دار در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	67	99	103	122	126	167
mineral	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs
SiO_2	۶۴٫۶۳	۶۲٫۹۵	۶۳٫۰۲	۶۳٫۷۲	۶۴٫۷۵	۶۳٫۴۵
Al_2O_3	۱۸٫۳۶	۱۸٫۷۹	۱۹	۱۹٫۱۹	۱۸٫۹۵	۱۹٫۳۵
CaO	۰	۰	۰٫۱۲	۰٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۵
Na_2O	۰٫۵۸	۰٫۲۹	۰٫۷۶	۱٫۳۶	۳٫۲۹	۱٫۴۹
K_2O	۱۶٫۲۴	۱۶٫۳۳	۱۵٫۸۲	۱۵٫۰۳	۱۱٫۹۶	۱۴٫۷۳
Total	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۰۴	۹۹٫۲۴	۱۰۰٫۱۱	۹۹٫۸۷	۹۹٫۵۷
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۹۹	۲٫۹۶	۲٫۹۵	۲٫۹۶	۲٫۹۵	۲٫۹۵
Al	۱٫۰۰	۱٫۰۴	۱٫۰۶	۱٫۰۴	۱٫۰۵	۱٫۰۶
Ca	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
Na	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱۳
K	۰٫۹۶	۰٫۹۸	۰٫۸۷	۰٫۹۸	۰٫۹۵	۰٫۸۷
X_{ab}	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۱۳	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۱۳
X_{An}	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
X_{or}	۰٫۹۵	۰٫۹۷	۰٫۸۶	۰٫۹۷	۰٫۹۳	۰٫۸۶

جدول ۵ نتایج بررسی نقطه ای پلاژیوکلاز در زینولیت های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS-12-37	AS-12-37	AS17-3	AS17-3
Analysis	75	76	77	78	79	105	118	121	152	163	173	45	64	13	14
mineral	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO_2	۵۶٫۴	۵۸٫۹	۶۲٫۳	۵۸٫۳	۶۰٫۱	۶۶٫۹	۶۷٫۲	۶۵٫۷	۶۵٫۳	۶۶٫۹	۶۶٫۲	۴۴٫۱	۵۵٫۵	۵۰٫۲	۵۰٫۹
Al_2O_3	۲۷٫۲	۲۵٫۸	۲۳٫۳	۲۵٫۹	۲۴٫۶	۲۰٫۴	۲۰٫۷	۲۰٫۲	۲۱٫۲	۲۰٫۶	۲۰٫۵	۳۵٫۴	۲۸٫۲	۳۱٫۹	۳۲٫۶
CaO	۹٫۵	۷٫۴	۴٫۷	۷٫۷	۶٫۵	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۳	۱٫۵	۰٫۴	۰٫۵	۱۸٫۸	۹٫۶	۱۴٫۲	۱۴٫۹
Na_2O	۶٫۱	۷٫۴	۹٫۰	۶٫۹	۷٫۶	۱۱٫۵	۱۱٫۲	۱۱٫۶	۱۰٫۶	۱۱٫۵	۱۱٫۶	۰٫۸	۶٫۳	۳٫۲	۲٫۹
K_2O	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۲	۰	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱
Total	۹۹٫۶	۱۰۰٫۰	۹۹٫۸	۹۹٫۵	۹۹٫۶	۹۹٫۹	۱۰۰٫۱	۹۸٫۲	۹۹٫۶	۹۹٫۹	۹۹٫۷	۹۹٫۵	۱۰۰٫۳	۱۰۰	۱۰۱٫۸
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۵	۲٫۶	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۷	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۹	۲٫۱	۲٫۵	۲٫۳	۲٫۳
Al	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۳	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۹	۱٫۵	۱٫۷	۱٫۷
Ca	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۳	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۷
Na	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۱	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۳
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X_{ab}	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۷	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۱	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۳
X_{An}	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۲	۰٫۴	۰٫۳	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۷	۰٫۷
X_{or}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

ادامه جدول ۵

Sampel	AS17-11	AS17-12	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	13	14	20	41	42	50	51	53	66	70	71	72	73	74
mineral	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl	Pl
SiO_2	۵۰٫۲۴	۵۰٫۹۰	۴۴٫۰۲	۴۵٫۰۳	۴۳٫۹۹	۴۴٫۰۸	۴۴٫۴۶	۴۴٫۲۴	۵۹٫۹۱	۵۹٫۷۱	۵۸٫۵۳	۵۸٫۰۸	۵۸٫۳۴	۶۰٫۰۲
Al_2O_3	۳۱٫۹۰	۳۲٫۵۸	۳۵٫۴۵	۳۴٫۷۳	۳۵٫۴۵	۳۴٫۰۱	۳۳٫۷۹	۳۵٫۵۹	۲۴٫۹۱	۲۵٫۰۱	۲۵٫۸۷	۲۶٫۱۶	۲۵٫۸۳	۲۴٫۷۹
CaO	۱۴٫۱۶	۱۴٫۹۰	۱۹٫۳۰	۱۸٫۴۸	۱۹٫۱۰	۱۷٫۷۶	۱۷٫۸۲	۱۹٫۰۳	۶٫۵۱	۷٫۰۴	۷٫۷۶	۸٫۳۳	۷٫۷۴	۶٫۵۹
Na_2O	۳٫۲۲	۲٫۹۲	۰٫۵۱	۰٫۹۲	۰٫۶۰	۱٫۱۲	۱٫۱۷	۰٫۵۵	۷٫۷۳	۷٫۳۹	۶٫۸۲	۶٫۸۱	۷٫۰۹	۷٫۴۹
K_2O	۰٫۱۶	۰٫۰۷	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۲۳	۰٫۴۳	۰٫۴۱	۰٫۳۲	۰٫۴۲	۰٫۵۰
Total	۱۰۰٫۰۵	۱۰۰٫۰۵	۱۰۰٫۰۲	۹۹٫۴۳	۹۹٫۸۲	۹۹٫۸۲	۹۹٫۵۷	۹۹٫۹۰	۹۹٫۵۲	۹۹٫۸۴	۹۹٫۶۹	۱۰۰٫۰۵	۹۹٫۶۵	۹۹٫۷۹
O #	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۲٫۲۹	۲٫۲۸	۲٫۰۴	۲٫۰۹	۲٫۰۴	۲٫۰۸	۲٫۰۹	۲٫۰۵	۲٫۶۸	۲٫۶۷	۲٫۶۳	۲٫۶۱	۲٫۶۲	۲٫۶۸
Al	۱٫۷۱	۱٫۷۲	۱٫۹۴	۱٫۹۰	۱٫۹۴	۱٫۸۹	۱٫۸۸	۱٫۹۴	۱٫۳۲	۱٫۳۲	۱٫۳۷	۱٫۳۸	۱٫۳۷	۱٫۳۱
Ca	۰٫۶۹	۰٫۷۲	۰٫۹۶	۰٫۹۲	۰٫۹۵	۰٫۹۰	۰٫۹۰	۰٫۹۴	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۷	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۳۲
Na	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۵۹	۰٫۵۹	۰٫۶۲	۰٫۶۵
K	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳
X_{ab}	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۶۷	۰٫۶۴	۰٫۶۰	۰٫۵۹	۰٫۶۱	۰٫۶۵
X_{An}	۰٫۷۰	۰٫۷۴	۰٫۹۵	۰٫۹۲	۰٫۹۴	۰٫۹۰	۰٫۸۹	۰٫۹۵	۰٫۳۱	۰٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۳۲
X_{or}	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳

جدول۶ نتایج بررسی نقطه‌ای مسکوویت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS-12-37
Analysis	86	87	100	108	119	127	128	164	41
mineral	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms
SiO_2	۴۲٫۰۰	۴۴٫۱۷	۴۳٫۹۰	۴۴٫۴۸	۴۵٫۱۸	۴۴٫۴۸	۴۴٫۰۶	۴۴٫۷۴	۴۴٫۵۲
TiO_2	۰٫۱۵	۰٫۹۲	۰٫۴۳	۰٫۵۱	۰٫۰۴	۰٫۱۵	۰٫۴۱	۰٫۱۶	۰٫۰۲
Al_2O_3	۳۴٫۸۵	۳۶٫۳۰	۳۶٫۲۴	۳۵٫۶۸	۳۶٫۳۸	۳۷٫۱۰	۳۸٫۲۸	۳۷٫۷۱	۳۶٫۳۱
FeO_t	۳٫۳۱	۰٫۹۲	۱٫۴۸	۱٫۵۸	۱٫۳۶	۰٫۵۱	۰٫۴۲	۱٫۲۴	۱٫۱۸
MgO	۱٫۵۹	۰٫۲۵	۰٫۷۷	۰٫۷۰	۰٫۸۱	۰٫۲۸	۰٫۰۲	۰٫۴۷	۰٫۲۶
Na_2O	۰٫۴۲	۰٫۵۸	۰٫۷۴	۰٫۹۴	۰٫۳۴	۰٫۵۲	۰٫۷۴	۰٫۶۴	۰٫۱۲
K_2O	۱۰٫۵۶	۱۰٫۲۷	۱۰٫۵۲	۱۰٫۱۷	۱۰٫۸۷	۱۰٫۸۲	۱۰٫۴۶	۱۰٫۳۳	۱۰٫۶۰
Total	۹۳٫۵۰	۹۳٫۸۵	۹۴٫۷۴	۹۴٫۴۴	۹۵٫۴۲	۹۴٫۰۶	۹۴٫۸۵	۹۵٫۷۳	۹۳٫۴۹
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
Si	۳٫۳۳	۳٫۴۸	۳٫۴۳	۳٫۴۸	۳٫۴۹	۳٫۴۹	۳٫۴۳	۳٫۴۴	۳٫۵۱
$Al.^{IV}$	۰٫۶۷	۰٫۵۲	۰٫۵۷	۰٫۵۲	۰٫۵۱	۰٫۵۱	۰٫۵۷	۰٫۵۶	۰٫۴۸
Al^{VI}	۲٫۵۸	۲٫۸۵	۲٫۷۷	۲٫۷۸	۲٫۸۱	۲٫۹۲	۲٫۹۴	۲٫۸۵	۲٫۸۹
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰۱
Fe^{2+}	۰٫۱۹	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۶
Mg	۰٫۱۹	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۵	۰٫۰۳
Na	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۱
K	۱٫۰۷	۱٫۰۳	۱٫۰۵	۱٫۰۲	۱٫۰۷	۱٫۰۸	۱٫۰۴	۱٫۰۱	۰٫۹۹
Total	۴٫۱۱	۴٫۱۱	۴٫۱۵	۴٫۱۵	۴٫۱۱	۴٫۱۶	۴٫۱۵	۴٫۱۰	۵٫۰۷
X_{Mg}	۰٫۴۹	۰٫۳۶	۰٫۵۲	۰٫۴۸	۰٫۵۵	۰٫۵۳	۰٫۰۷	۰٫۴۴	۰٫۳۲

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

جدول ۷ نتایج بررسی نقطه‌ای بیوتیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7
Analysis	15	22	23	37	38	56	57	63	64	106
mineral	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt
SiO_2	۳۳٫۶۸	۳۳٫۴۰	۳۳٫۲۴	۳۳٫۸۱	۳۳٫۵۵	۳۴٫۷۹	۳۳٫۹۸	۳۵٫۵۳	۳۵٫۵۳	۳۴٫۰۳
TiO_2	۴٫۱۹	۳٫۳۰	۲٫۹۴	۰٫۵۰	۰٫۴۷	۴٫۵۹	۴٫۱۱	۲٫۹۴	۳٫۰۵	۳٫۶۱
Al_2O_3	۲۰٫۱۶	۲۰٫۱۹	۲۰٫۳۱	۲۰٫۳۹	۲۱٫۰۶	۱۷٫۷۳	۱۸٫۶۸	۱۶٫۶۷	۱۶٫۴۹	۲۱٫۶۸
FeO_t	۱۹٫۳۱	۱۸٫۳۷	۱۸٫۱۱	۱۷٫۳۲	۱۷٫۲۶	۱۹٫۱۳	۱۹٫۰۴	۱۹٫۰۵	۱۸٫۹۱	۱۸٫۰۴
MnO	۰٫۱۵	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۴
MgO	۸٫۰۶	۹٫۸۴	۹٫۷۱	۱۱٫۶۶	۱۱٫۰۰	۹٫۷۲	۹٫۴۳	۱۱٫۲۰	۱۱٫۴۰	۷٫۸۹
Na_2O	۰٫۲۷	۰٫۱۸	۰٫۱۶	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۲۴	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۹
K_2O	۹٫۴۶	۹٫۸۴	۹٫۸۹	۹٫۷۸	۹٫۹۱	۹٫۵۹	۹٫۸۱	۹٫۸۹	۹٫۹۵	۹٫۷۹
Total	۹۶٫۰۳	۹۵٫۶۵	۹۵٫۶۵	۹۴٫۰۷	۹۳٫۹۶	۹۶٫۳۷	۹۵٫۶۶	۹۶٫۱۲	۹۶٫۱۸	۹۳٫۹۶
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
Si	۲٫۶۵	۲٫۶۰	۲٫۶۱	۲٫۶۲	۲٫۶۲	۲٫۷۱	۲٫۶۷	۲٫۷۵	۲٫۷۵	۲٫۶۶
$Al.^{IV}$	۱٫۳۵	۱٫۴۰	۱٫۳۹	۱٫۳۸	۱٫۳۸	۱٫۲۹	۱٫۳۳	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۳۴
Al^{VI}	۰٫۵۲	۰٫۴۵	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۵۵	۰٫۳۴	۰٫۴۰	۰٫۲۷	۰٫۲۶	۰٫۶۷
Ti	۰٫۲۵	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۲۱
Fe^{2+}	۱٫۲۳	۱٫۱۷	۱٫۱۶	۱٫۱۱	۱٫۱۱	۱٫۲۲	۱٫۲۲	۱٫۲۱	۱٫۲۰	۱٫۱۴
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Mg	۰٫۹۵	۱٫۱۴	۱٫۱۴	۱٫۳۵	۱٫۲۸	۱٫۱۳	۱٫۱۰	۱٫۲۹	۱٫۳۲	۰٫۹۲
K	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۷	۰٫۹۹	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸
Total	۳٫۹۶	۳٫۹۸	۳٫۹۹	۳٫۹۸	۳٫۹۹	۳٫۹۶	۳٫۹۸	۳٫۹۷	۳٫۹۸	۳٫۹۷
XMg	۰٫۴۳	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۵۵	۰٫۵۳	۰٫۴۸	۰٫۴۸	۰٫۵۲	۰٫۵۲	۰٫۴۵

ادامه جدول ۷

Sampel	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37	AS17-3	AS17-3	AS17-3	AS17-3	AS17-3
Analysis	107	169	175	46	65	66	11	12	15
mineral	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt	Bt
SiO_2	۳۳٫۳۳	۳۳٫۴۱	۳۳٫۶۰	۳۳٫۷۷	۳۴٫۶۳	۳۳٫۳۵	۳۳٫۱۶	۳۳٫۶۲	۳۳٫۶۸
TiO_2	۳٫۹۳	۲٫۶۰	۱٫۱۸	۳٫۷۷	۲٫۹۶	۴٫۱۶	۳٫۷۲	۴٫۰۵	۴٫۱۸
Al_2O_3	۲۱٫۸۵	۲۲٫۵۶	۲۳٫۷۴	۱۹٫۱۸	۲۲٫۴۶	۲۱٫۴۷	۱۹٫۷۴	۱۸٫۷۸	۲۰٫۱۶
FeO_t	۱۸٫۲۲	۱۵٫۸۷	۱۶٫۳۰	۱۷٫۵۴	۱۴٫۸۲	۱۷٫۳۷	۱۹٫۰۸	۱۸٫۱۴	۱۹٫۳۱
MnO	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۲۳	۰٫۱۴	۰٫۱۶۹	۰٫۱۴۹	۰٫۱۳۷	۰٫۱۵۱
MgO	۸٫۱۰	۹٫۹۹	۹٫۶۴	۱۰٫۲۴	۱۰٫۳۹	۹٫۲۵	۸٫۳۴	۸٫۷۹۴	۸٫۰۶۲
Na_2O	۰٫۱۸	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۴۸	۰٫۴۱۹	۰٫۱۲۲	۰٫۱۸۹	۰٫۲۳۷	۰٫۲۶۸
K_2O	۹٫۸۵	۹٫۷۸	۹٫۹۲	۹٫۷۵	۹٫۴۲	۹٫۹۰	۹٫۶۳	۹٫۵۷	۹٫۴۶
Total	۹۳٫۹۶	۹۳٫۹۶	۹۳٫۹۶	۹۴٫۷۷	۹۵٫۹۷	۹۶٫۱۷	۹۴٫۵۹	۹۳٫۸۲	۹۶٫۰۳
O #	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
Si	۲٫۶۰	۲٫۵۹	۲٫۶۰	۲٫۶۴	۲٫۶۴	۲٫۵۸	۲٫۶۴	۲٫۶۹	۲٫۶۴
$Al.^{IV}$	۱٫۴۰	۱٫۴۱	۱٫۴۰	۱٫۳۵	۱٫۳۵	۱٫۴۱	۱٫۳۵	۱٫۳۰	۱٫۳۵
$Al\ .^{VI}$	۰٫۶۱	۰٫۶۵	۰٫۷۶	۰٫۴۲	۰٫۶۷	۰٫۵۵	۰٫۵۰	۰٫۴۷۶	۰٫۵۲
Ti	۰٫۲۳	۰٫۱۵	۰٫۰۷	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۲۴	۰٫۲۴
Fe^{2+}	۱٫۱۵	۱	۱٫۰۳	۱٫۱۲	۰٫۹۲	۱٫۱۰	۱٫۲۳	۱٫۱۸	۱٫۲۳
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱
Mg	۰٫۹۴	۱٫۱۵	۱٫۱۱	۱٫۱۹	۱٫۱۸	۱٫۰۶	۰٫۹۹	۱٫۰۵	۰٫۹۴
Na	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴
K	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۸	۰٫۹۷	۰٫۹۲	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۸	۰٫۹۵
Total	۳٫۹۷	۳٫۹۶	۳٫۹۷	۳٫۹۷	۳٫۹۷	۳٫۹۶	۳٫۹۷	۳٫۹۸	۳٫۹۵
X_{Mg}	۰٫۴۵	۰٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۵۵	۰٫۵۶	۰٫۴۹	۰٫۴۴	۰٫۴۷	۰٫۴۳

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

جدول۸ نتایج آنالیز نقطه‌ای کلریت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه.

Sample	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS17-7	AS12-37
Analysis	9	44	62	89	90	1	2	4	10	43
Mineral	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl	Chl
SiO_2	۲۴٫۱۸	۲۹٫۳۰	۲۲٫۴۶	۲۳٫۰۸	۲۳٫۰۱	۱۸٫۷۴	۱۹٫۳۸	۱۹٫۸۸	۲۲٫۲۳	۲۳٫۴۹
Al_2O_3	۳۱٫۶۹	۴۴٫۱۱	۲۴٫۳۰	۲۴٫۹۲	۲۴٫۸۶	۳۰٫۴۴	۲۹٫۶۶	۳۲٫۲۸	۲۶٫۴۷	۲۴٫۶۱
FeO	۱۶٫۸۴	۳٫۷۳	۳۰٫۸۱	۲۶٫۷۳	۲۶٫۱۶	۲۹٫۱۴	۳۱٫۳۴	۲۲٫۳۸	۲۸٫۶۹	۲۵٫۱۷
MnO	۰٫۱۹	۰٫۰۳	۰٫۱۹	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۲۰	۰٫۲۳	۰٫۱۵	۰٫۳۵	۰٫۱۷
MgO	۹٫۵۵	۰٫۷۱	۷٫۸۰	۱۱٫۲۶	۱۱٫۲۳	۷٫۲۸	۵٫۵۱	۱۲٫۷۹	۹٫۸۳	۱۲٫۹۲
CaO	۲٫۴۹	۱۰٫۰۱	۰٫۱۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۴	-	۰٫۲۰
Na_2O	۰٫۵۴	۰٫۸۶	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	-	۰٫۰۲	۰٫۰۲	-
Total	۸۶٫۴۱	۸۹٫۸۴	۸۶٫۶۰	۸۶٫۶۴	۸۵٫۸۱	۸۶٫۵۳	۸۶٫۷۵	۸۷٫۸۹	۸۷٫۷۲	۸۶٫۸۳
O #	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
Si	۴٫۸۷	۵٫۲۸	۴٫۹۶	۴٫۹۶	۴٫۹۸	۴٫۱۹	۴٫۲۸	۴٫۱۱	۴٫۷۶	۵
$Al.^{IV}$	۳٫۱۲	۲٫۷۱	۳٫۰۳	۳٫۰۳	۳٫۰۱	۳٫۸۰	۳٫۷۱	۳٫۸۰	۳٫۲۳	۳
$Al.^{VI}$	۴٫۵۲	۶٫۸۰	۳٫۳۲	۳٫۲۹	۳٫۳۴	۴٫۰۲	۴٫۰۴	۴	۳٫۴۷	۳٫۱۸
$Fe^{(iii)}$	۰٫۶۶	۰٫۵۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۹	۰٫۰۹	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۱۰
$Fe^{(ii)}$	۲٫۱۷	۰	۵٫۵۴	۴٫۶۵	۴٫۵۵	۵٫۲۶	۵٫۶۰	۳٫۸۰	۵٫۰۲	۴٫۳۸
Mn	۰٫۰۳	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۳
Mg	۲٫۸۶	۰٫۱۹	۲٫۵۷	۳٫۶۱	۳٫۶۲	۲٫۳۸	۱٫۸۱	۳٫۹۴	۳٫۱۴	۴٫۰۹
Ca	۰٫۵۳	۱٫۹۳	۰٫۰۳	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۵
Na	۰٫۴۲	۰٫۵۹	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰
Total	۱۹٫۳۶	۱۸٫۱۶	۱۹٫۸۱	۱۹٫۷۸	۱۹٫۷۴	۱۹٫۸۷	۱۹٫۷۴	۱۹٫۸۱	۱۹٫۸۳	۱۹٫۸۶

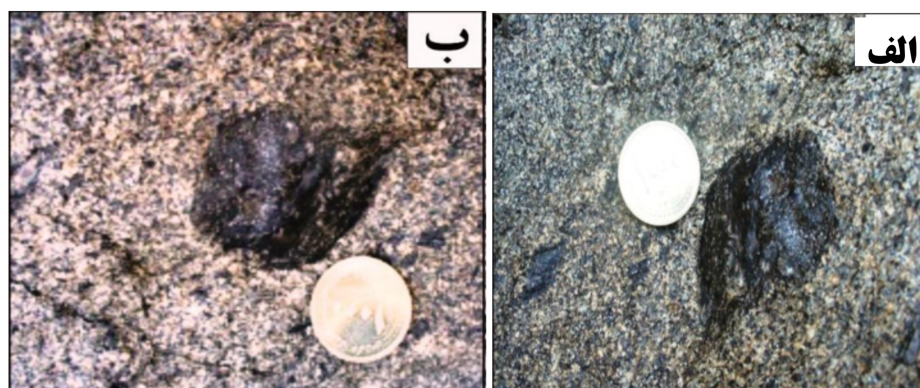
ویژگی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری

مجموعه سنگ‌های آذرین آستانه (جنوب غرب اراک) شامل توده‌ی گرانیتوئیدی با ترکیب تونالیت و گرانودیوریت (با ترکیب غالب گرانودیوریتی) همراه با سنگ‌های ریوداسیتی هستند [۶]. در حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی، زینولیت‌هایی با قطر ۱۰ تا ۲۵ سانتی متر وجود دارد (شکل ۳) که مجموعه‌ی کانیایی آن‌ها شامل کرندوم+ اسپینل+ آندالوزیت+ فلدسپارپتاسیم دار+ پلاژیوکلاز+ مسکوویت+ بیوتیت+ کلریت با بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیرولپیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک است. این سنگ‌ها دارای کرندوم (۲۰-۱۰٪)، آندالوزیت (۱۰-۵٪)، اسپینل (۱۵-۱۰ ٪)، مسکوویت (۱۰-۵ ٪)، بیوتیت (۱۰-۵ ٪)، پلاژیوکلاز (۱۵-۱۰٪)، فلدسپارپتاسیم‌دار (۱۰-۵ ٪) و بقیه شامل کلریت و کانی‌های کدر هستند.

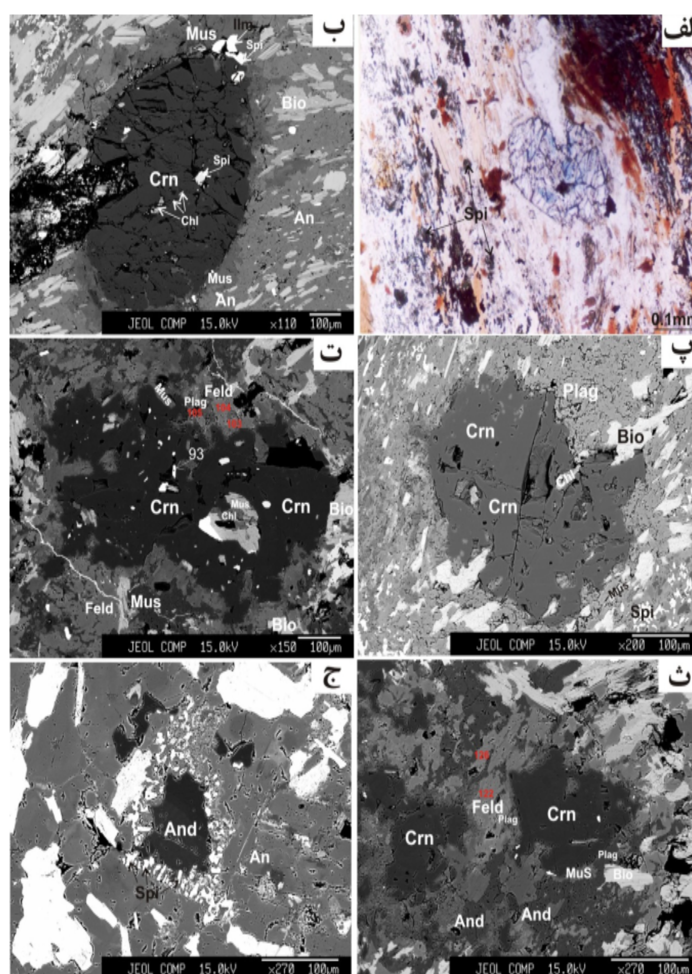
این سنگ‌ها در برخی حالات دچار ذوب بخشی شده‌اند. مقیاس ذوب‌بخشی وسیع نبوده و در حد مزوسکوپی تا میکروسکوپی است. از نظر ماکروسکوپی بخش‌های ذوب شده به شکل قطره‌اند. از نظر میکروسکوپی گدازه به صورت میانبار یا حفره‌هایی شکل گرفته در کانی‌های اسپینل و پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. وجود کانی‌های دمای بالا (اسپینل و کرندوم) نشان می‌دهد که فرآیند ذوب‌بخشی بدون شاره در این سنگ‌ها رخ داده است. همچنین حضور گدازه نشان می‌دهد که بافت حاشیه‌ای اسپینل-پلاژیوکلاز و بیوتیت به جای آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی رخ داده است.

کرندوم کانی شاخص در زینولیت‌های مورد بررسی است که در مقاطع میکروسکوپی به صورت درشت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار، وجود دارند (شکل‌های ۴ الف تا ث و ۵ الف و پ). بلورهای کرندوم به رنگ آبی و به صورت بیضوی و تکه تکه با برجستگی شدید نسبت به آندالوزیت و کانی‌های دیگر مشاهده می‌شوند. این کانی دارای حاشیه‌ی گرد شده بوده و به‌وسیله‌ی کانی‌های مسکوویت، آندالوزیت، فلدسپارپتاسیم‌دار، پلاژیوکلاز و بیوتیت احاطه شده است (شکل ۴ الف، پ، ت و ث). آندالوزیت کانی آلومینوسیلیکات زینولیت‌های مورد بررسی است که به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شوند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

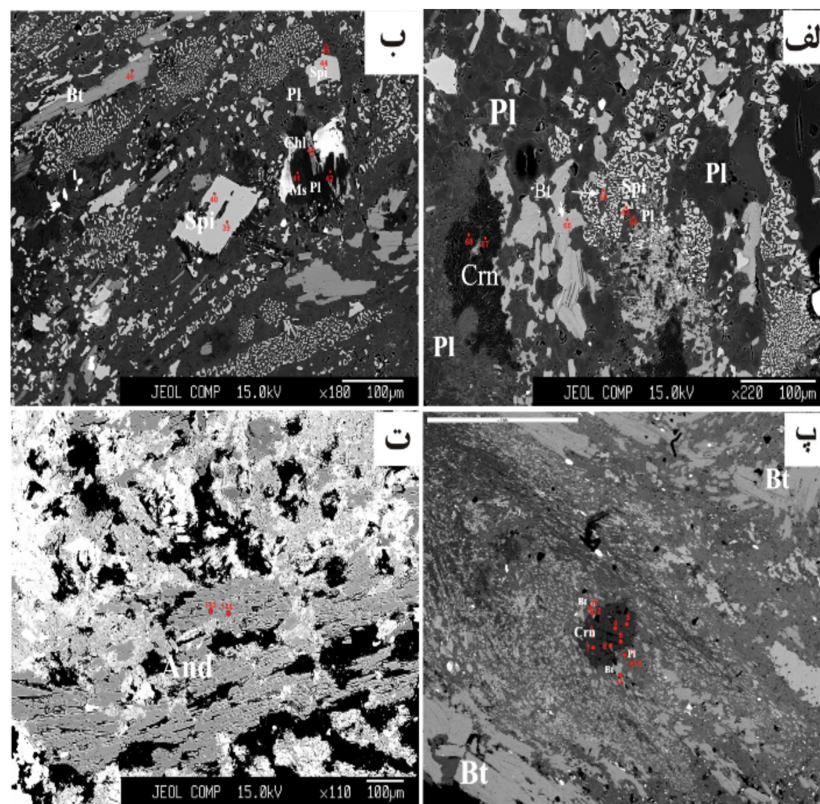


شکل ۳ تصاویر ماکروسکوپی از زینولیت‌های موجود در حاشیه توده‌ی ریوداسیتی منطقه آستانه.



شکل ۴ الف) تصویر میکروسکوپی از زینولیت‌های منطقه آستانه، به برجستگی کرندوم توجه شود، (نور XPL) ب) تصویر BSE (Back Scattered Electron Image) (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه که کلریت به صورت ادخال و اسپینل به صورت میانبار یا ادخال درون کرندوم حضور دارد که ممکن است ناشی از تبلور ماده‌ی گدازه به تله افتاده در کرندوم باشد پ) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که کرندوم به صورت نیمه شکل‌دار با برجستگی بالا مشاهده می‌شود، ت) تصویرBSE با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه که کرندوم به صورت نیمه شکل دار به‌وسیله‌ی کانی‌های مسکوویت، بیوتیت، فلدسپارپتاسیم‌دار و پلاژیوکلاز احاطه شده است، ث) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که کرندوم و آندالوزیت در زمینه‌ی فلدسپار پتاسیم-دار و پلاژیوکلاز دیده می شوند، ج) تصویر BSE (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه که در آن آندالوزیت به‌وسیله‌ی اسپینل احاطه شده و در زمینه‌ی پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم‌دار مشاهده می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]



شکل ۵ تصاویر BSE (Back Scattered Electron Image) (با مقیاس ۱۰۰ میکرون) از زینولیت‌های منطقه آستانه الف) بافت سیمپلکتیت (Symplectite) اسپینل در اطراف بیوتیت و پلاژیوکلاز، به کرندوم به صورت خوشه‌ای توجه شود، ب) رشد کرمی شکل کانی اسپینل و تشکیل بافت سیمپلکتیت در اطراف کانی‌های بیوتیت، مسکوویت و کلریت، پ) رشد درشت بلور کرندوم در حاشیه کانی‌های مسکوویت، بیوتیت و پلاژیوکلاز به برگواره‌ی اطراف کرندوم توجه شود، ت) آندالوزیت به صورت بلور کشیده (vermicular).

این کانی به صورت بلورهای کشیده در زمینه‌ای از کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپارپتاسیم‌دار قرار گرفته است و در برخی موارد نیز به‌وسیله‌ی اسپینل احاطه شده است و در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز، فلدسپارپتاسیم‌دار و بیوتیت مشاهده می‌شود (شکل های ۴ ث، ج و ۵ ت). در دسترس نبودن سیلیس و یا جدا شدن آندالوزیت از زمینه‌ی دارای سیلیس به‌وسیله‌ی پلاژیوکلاز، فلدسپارپتاسیم دار و بیوتیت در حاشیه آندالوزیت سبب بوجود آمدن مناطق کم سیلیس در سنگ شده است. بنابراین بلورهای اسپینل در این مناطق و در حاشیه آندالوزیت رشد کرده است.

اسپینل کانی متداول دیگر زینولیت‌های مورد بررسی است که به صورت شکل‌دار، نیمه شکل‌دار، بی شکل (در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز و فلدسپارپتاسیم‌دار) و با دانه‌های هم اندازه به رنگ سبز زیتونی و قهوه‌ای و گاهی در حاشیه آندالوزیت و گاهی به صورت ادخال یا میانبار در کانی کرندوم مشاهده می‌شود که ممکن است ناشی از تبلور گدازه‌ی به تله افتاده در کرندوم باشد (شکل‌های۴ الف، ب ،پ، ت، ث و ۵ الف و پ). پلاژیوکلاز در هم‌رشدی‌های سیمپلکتیت با اسپینل به همراه بیوتیت، فلدسپارپتاسیم‌دار و کلریت دیده شود (شکل ۴ ج و ۵ الف و ب). این بافت‌ها معمولاً وقتی ایجاد می‌شوند که تعادل بین چند کانی از بین رفته و سیستم با تشکیل کانی‌های جدید تلاش می‌کند تا دوباره به حالت تعادل برسد [۷]. گدازه به صورت حفره‌ها یا میانبار (ادخال) در کانی‌های اسپینل و پلاژیوکلاز دیده می‌شود. پلاژیوکلاز در همرشدی‌های سیمپلکتیت با اسپینل به همراه بیوتیت، فلدسپارپتاسیم‌دار و کلریت دیده می‌شود (شکل۴ ج و ۵ الف، ب). در این بافت به احتمال، افزایش دما و ناپایداری کرندوم، ترکیبات لازم برای تشکیل اسپینل همراه با بافت سیمپلکتیت را فراهم می‌کند. (واکنش‌های احتمالی ۱،۲ و ۳) :

1) 7Cor + Clin/Ames = 3And + 5Sp + Melt
2) 3Cor + Phl = 3Sp + San + Melt
3) 10Cor + 2Ann + Ames = 4And + 6Sp + 2East + Melt

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

مسکوویت به صورت ادخال و همراه با کانی‌های فلدسپار پتاسیم‌دار، آندالوزیت، پلاژیوکلاز، بیوتیت و به ندرت کلریت در اطراف کرندوم دیده می‌شود که براساس تصاویر میکروسکوپی و واکنش‌های KFMASH، کانی کرندوم بر اثر رخداد فرایندهای دگرگونی پیشرونده بدون کوارتز رشد کرده است.

کلریت به صورت ادخال در کانی کرندوم و به همراه مسکوویت و پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. بنابر بررسی‌های میکروسکوپی، هیچ‌گونه دگرسانی و تجزیه‌ای در کلریت‌ها مشاهده نمی‌شود و حتی همراه با بافت سیمپلکتیت به صورت مستطیل بلند مشاهده می‌شود

شیمی کانی

براساس بررسی‌های نقطه‌ای از کانی‌های مختلف موجود در زینولیت‌های مورد بررسی، شیمی آنها مورد بررسی قرار گرفت:
کرندوم: نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که کانی یاد شده بیشتر از Al_2O_3 (۹۷٫۹۸- ۱۰۰٫۱۱wt%) و مقادیر ناچیزی FeO (۰٫۲۰-۰٫۶۵wt%) تشکیل شده است (جدول ۱).

آندالوزیت : براساس تجزیه‌ی شیمیایی، مقدار Al_2O_3 این کانی ۵۹٫۶۲ تا ۶۴٫۱۲ درصد و SiO_2 بین ۳۹٫۳ -۳۶٫۲۱ ٪ است (جدول ۲).

اسپینل: تجزیه‌ی شیمیایی اسپینل‌ها نشان می‌دهد که از نوع آلومینیوم و آهن‌دار (هرسینیت) هستند. مقدار Al_2O_3 این کانی ۵۷٫۰۷ تا ۶۱٫۲۸ درصد، FeO بین ۳۴٫۹۹ -۳۱٫۷۳ ٪ و SiO_2 بین صفر تا ۰٫۰۳٪ که بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است (جدول ۳).

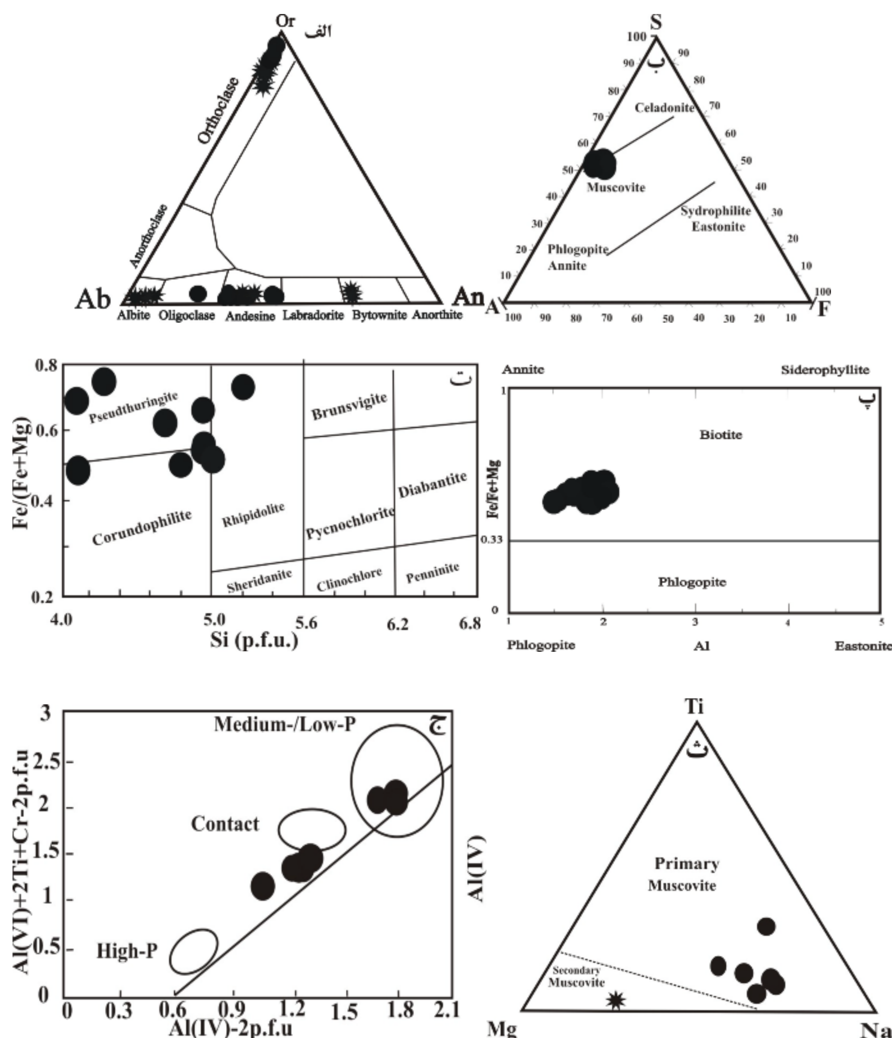
فلدسپارپتاسیم‌دار: نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی فلدسپارپتاسیم‌دار نشان می‌دهد که این کانی از نوع ارتوکلاز است (شکل ۶ الف و جدول ۴).

پلاژیوکلازها: نتایج حاصل از تجزیه‌ی شیمیایی پلاژیوکلازها نشان می‌دهد که ترکیب پلاژیوکلازها از آلبیت تا بیتونیت متغیر است و بیشتر در گستره‌ی آلبیت و آندزین بوده است (شکل ۶ الف و جدول ۵). نکته قابل توجه از نظر ترکیب شیمیایی در پلاژیوکلازهای این زینولیت‌ها بدین صورت است که در برخی مقاطع که دارای بافت ساده‌ساز هستند تفاوت زیادی در ترکیب پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود. تغییرات ترکیبی این کانی بستگی به جانشینی Ca+Al به جای Na+Si دارد. این جانشینی شامل شکستن پیوندهای شدید Al-O و Si-O است و احتمالاً بیانگر این است که در کل بدنه‌ی بلور بندرت تعادل شیمیایی وجود دارد. این عملکرد ممکن است نماینده ۱) تغییرات علامت‌دار در چگونگی حین رشد، نظیر تغییری از رشد منظم و آهسته به رشدی سریع‌تر مانند رشد خانه خانه یا بافت سلولی و یا رشد شبه درختی یا ۲) بازجذب منطقه‌های انتخابی به عنوان نتیجه‌ای از ناپایداری به واسطه جابه‌جایی شدید بلور در درون ماگمایی که با تبلور بخشی گدازه‌ی به دام افتاده تعقیب شود [۸]. مقدار CaO و Na_2O این کانی به ترتیب ۱۹٫۳۰ - ۰٫۰۵ و ۱۱٫۶۰ – ۰٫۲۹ ٪ و آنورتیت آن ۳ تا ۹۵ درصد است (جدول ۵).

مسکویت : بر اساس نمودارهای سه تایی SiO_2-FeO-Al_2O_3 (SAF) (شکل ۶ ب)، عضو نهایی بیشتر مسکوویت است. مسکوویت در زینولیت‌های مورد بررسی بیشتر از ۸۶ تا ۹۷ درصد قطب مسکوویت و ۳ تا ۱۴ درصد قطب پاراگونیت تشکیل شده است. مقدار Al_2O_3 این کانی به ۳۸٫۲۸ درصد می‌رسد. کسر مولی منیزیم این کانی از ۰٫۰۷ تا ۰٫۵۵است. بنابر بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیزهای شیمیایی، مسکوویت‌ها اولیه‌اند و تنها مسکوویت در مقطع با بافت سیمپلکتیت ثانویه است (شکل۶ ث) (جدول ۶).

بیوتیت: بیوتیت موجود در زینولیت‌های مورد بررسی از خود جهت یافتگی نشان می‌دهد. بر اساس رده‌بندی [۹،۱۰]، بیوتیت‌ها در محدوده بین آنیت و فلوگوپیت قرار می‌گیرند (شکل ۶ پ) به طوری که جانشینی قابل توجه $Mg=Fe^{2+}$ در موقعیت همارایی هشت‌وجهی ترکیب فلوگوپیت را به سمت آنیت تغییر می‌دهد. کسر مولی منیزیم این کانی در زینولیت‌های بررسی شده ۰٫۴۳ تا ۰٫۵۵ و مقدار TiO_2 در آن بین ۰٫۵۰ تا ۴٫۵۹ در تغییر است (جدول ۷).

کلریت: براساس رده‌بندی [۱۱]، کلریت‌های پیشرونده منطقه از نوع پسودوتورونژیت و کرندوفیلیت است که به سمت رپیدولیت تمایل پیدا می‌کنند (شکل ۶ ت). و بر اساس نمودار $Al^{(VI)}$+2Ti+Cr-2(a.p.f.u) در برابر $Al^{(IV)}$-2(a.p.f.u) [۱۲]، کلریت‌های آنالیز شده در گستره‌ی دگرگونی مجاورتی تا دگرگونی فشار پایین - متوسط قرار می‌گیرند (شکل ۶- ج). دمای تبلور کلریت‌های مورد بررسی براساس رابطه $T = 321/9772(AL^{IV}) - 61/9229$ [۱۳] در گستره‌ی ۲۷۰ تا ۵۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است که میانگین دمای تبلور آن ها ۴۰۳٫۰۱ درجه سانتی گراد است.



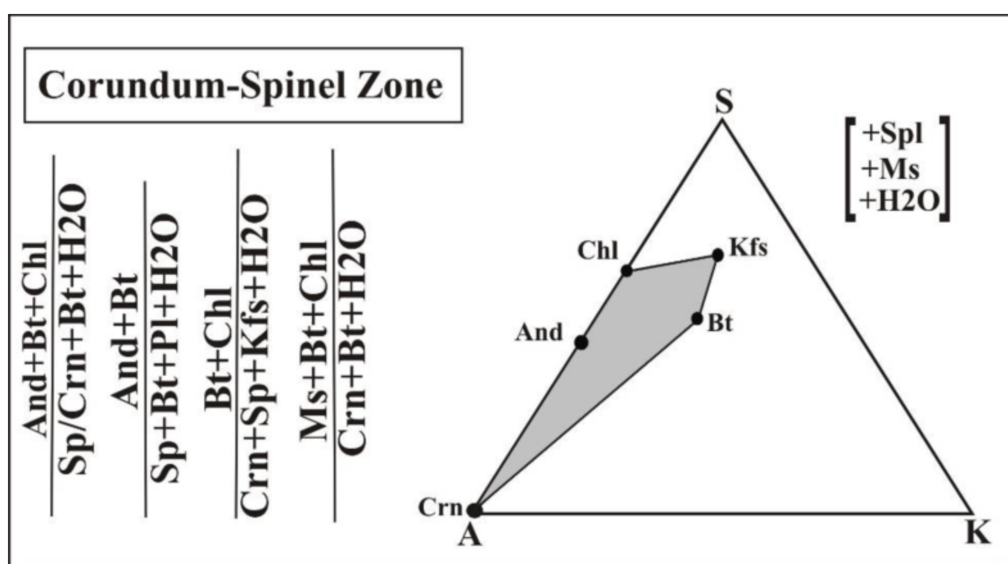
شکل ۶ الف) ترکیب فلدسپارها در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه روی نمودار Ab-Or-An [۱۴] ب)ترکیب شیمیایی مسکوویت روی نمودار سه تایی $(SAF)SiO_2$-FeO-Al_2O_3 [۱۵] پ) رده‌بندی شیمیایی میکاها در سنگ‌های مورد بررسی [۱۰، ۱۴] ت) نمودار $Fe^{+2}/Fe^{+2}+Mg$ نسبت‌به Si در کلریت‌ها [۱۱] ث) موقعیت ترکیب شیمیایی موسکوویت‌های مورد مطالعه [۱۶] ج)ترکیب شیمیایی کلریت‌ها روی‌نمودار$Al^{(VI)}+2Ti+Cr-2$ دربرابر $Al^{(IV)}-2$، خط ربط نشان‌دهنده جانشینی چرماک در منطقه‌های مختلف دگرگونی است [۱۲].

بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی، کسر مولی منیزیم برای این کانی ۰/۳۸ تا ۰/۴۵ است. کاتیون Si از ۴/۱۱ تا ۵/۲۸، Al از ۶/۱۸ تا ۹/۵۲، Mn از ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۶۳، Na از صفر تا ۰/۵۹ و Ti در این کانی از ۰/۰۰۹ تا صفر یا در حد چشم پوشی تغییر می‌کند (جدول ۸).

منطقه‌ی کانی‌شناسی و واکنش‌های دگرگونی

در اینجا به منطقه‌ها و واکنش‌های احتمالی موثر در پیدایش دانه‌ای و پورفیروبلاست‌های کرندوم حاصل، با استفاده از تشکیل مجموعه کانیایی زینولیت‌های منطقه آستانه پرداخته شده است. مجموعه این سنگ‌ها شامل کانی‌های Crn + Spl + And + Kfs + Pl + Ms + Bt + Chl می‌باشد. کرندوم و اسپینل به عنوان کانی شاخص دگرگونی رخساره پیروکسن هورنفلس از کانی‌های آلومینیوم‌دار تحت اشباع از سیلیس پدید آمده‌اند و در زمینه‌ای از کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپارپتاسیم‌دار و بیوتیت قرار گرفته‌اند.

بر اساس روابط بافتی می‌توان منطقه‌ی کرندوم- اسپینل را برای زینولیت‌های مورد بررسی در نظر گرفت و امکان واکنش-های زیر که با استفاده از نرم‌افزار ترموکالک [۱۷] پیشنهاد شده وجود داشته است. روابط فازی و واکنش‌های دگرگونی کانی‌های KFMASH نمونه‌های بررسی شده منطقه آستانه، در نمودار ASK (شکل۷) نشان داده شده‌اند.



شکل۷ روابط فازی و واکنش‌های دگرگونی در زینولیت‌های منطقه آستانه.

دما-فشارسنجی با منحنی‌های تعادلی چندگانه

یکی از مهم‌ترین روش‌های دما- فشارسنجی، استفاده از منحنی‌های تعادلی چندگانه بین کانی‌های موجود در یک سنگ در نمودار P-T است. در این روش نخست واکنش‌های دگرگونی در سنگی که بالاترین کانی‌های دگرگون در حالت تعادل کانی‌شناسی را دارد (پایین‌ترین درجه‌ی آزادی) پیدا می‌شود. سپس با استفاده از ترکیب شیمیایی کانی‌ها (نتایج حاصل از تجزیه‌ی ریزکاوی الکترونی) منحنی‌های نشان دهنده واکنش را در یک نمودار P-T رسم کرده و با استفاده از پیوندگاه منحنی‌ها، دما و فشار به دست می‌آیند. دما و فشار به دست آمده بر اساس مجموعه کانی‌های در حال تعادل با استفاده از نرم‌افزار ترموکالک Thermocalc(v.2.4) [۱۷] واکنش‌های (۱ تا ۴) نشان‌دهنده‌ی دمای تقریبی ۷۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار حدود ۲٫۸ کیلوبار است ($SdT= 46^oC$) و($SdP=1.1$ Kbar) (شکل۸). (محاسبات بر اساس مقطع دارای بیشترین کانی‌های پاراژنزی و بدون بافت سیمپلکتیت هستند).


۱) $2And + 4East + Ames = 8Cor + 4Phl + 4H_2O$


۲) $7Mu + Phl = 3Sp + 4San + 4H_2O$


۳) $4East + 2Ames = Mu + 7Sp + 3Phl + 8H_2O$


۴) $3East + Clin = 2Cor + 2Sp + 3Phl + 4H_2O$

P = 2.8 kbar (sd =1.1), T = 718 øC (sd = 46)

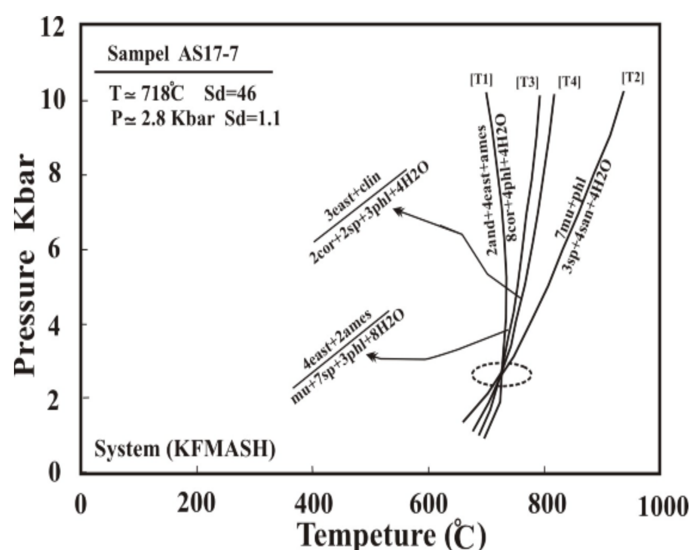
رخساره‌ی دگرگون و خاستگاه زمین‌شناسی

زینولیت‌های مورد بررسی در واقع سنگ‌های رسی (آلومینیوم داری) بوده‌اند که درون ماگمای داغ ریوداسیتی افتاده و به اصطلاح فرایند پیرومتامرفیسم (افتادن رسوب‌های غنی از آلومینیوم داخل ماگمای داغ ریوداسیتی) رخ داده است که شواهد آن را می‌توان درونگیرهای آندزیتی داخل ریوداسیت‌ها دانست به طوری که وجود آمفیبول پاراگازیتی و پلاژیوکلاز نوع آنورتیتی بیانگر خاستگاه عمیق و داغ بودن ماگمای این منطقه هستند [۱۸].

وجود کانی‌های دمای بالا (اسپینل و کرندوم) نشان می‌دهد که فرآیند ذوب‌بخشی بدون شاره در این سنگ‌ها رخ داده است. همچنین حضور گدازه نشان می‌دهد که بافت حاشیه‌ای اسپینل-پلاژیوکلاز و بیوتیت به جای آندالوزیت در شرایط ذوب بخشی رخ داده است.

در این زینولیت‌ها بافت حاشیه‌ای (سیمپلکتیک) اسپینل+پلاژیوکلاز+بیوتیت به جای آندالوزیت دیده می‌شود که به احتمال در شرایط ذوب بخشی حاصل شده است (واکنش-های ۱ و ۲). ذوب‌بخشی در پوسته‌ی میانی و پایینی در پاسخ به شکسته شدن کانی‌های آبدار نظیر مسکوویت، بیوتیت و آمفیبول ممکن است رخ دهد [۱۹، ۲۰]. در بسیاری موارد، مقدار گدازه‌ی تولید شده با میزان کانی‌های آبدار ارتباط دارند [۲۰]. ذوب‌بخشی، به دلیل محتوای آب گدازه، به وسیله واکنش آبزدایی مسکوویت آبزدا می‌شود [۲۱].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]



شکل ۸ نمودار دما- فشار واکنش‌های بدست آمده با نرم افزار ترموکالک (v.2.4) [۱۷] در سیستم KFMASH که دمای ۷۱۸ درجه سانتی گراد و فشار ۲٫۸ کیلوبار را برای سنگ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

در شرایط یکسان P-T و سنگ مادر (پروتولیت)، جریان آب تاثیر چشمگیری بر رفتار ذوب می‌گذارد. بنابراین با توجه به واکنش‌های KFMASH زیر (۱و۲) و بررسی‌های میکروسکوپی، ذوب پیشرونده آب زدایی مسکوویت و بیوتیت به همراه کانی‌های آندالوزیت، فلدسپارپتاسیم‌دار، پلاژیوکلاز و کلریت، شکل‌گیری کرندوم و اسپینل را نمایان می‌سازد.

1) And + Bt + Chl = Sp /Crn + Bt + Melt
2) And + Bt = Sp + Bt + Pl + Melt
3) Bt + Chl = Crn + Spl + Kfs + Melt
4) Ms + Bt + Chl = Crn + Bt + Melt

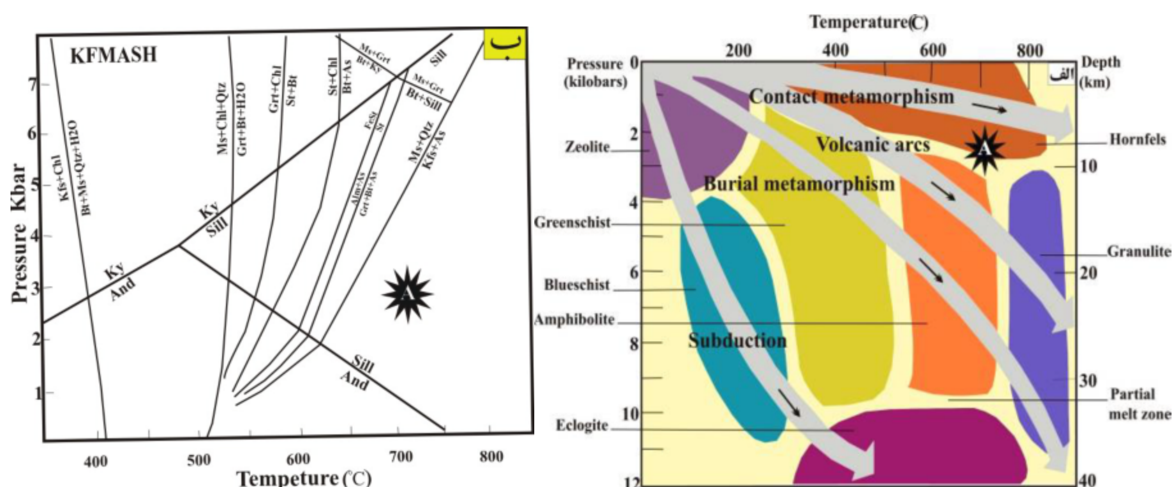
کاهش مقدار SiO_2 و یا جدا شدن کانی آندالوزیت از مناطق غنی از SiO_2 در اثر رشد پلاژیوکلاز، فلدسپارپتاسیم‌دار و بیوتیت سبب ایجاد مناطقی در پیرامون بلور آندالوزیت می‌شود که از SiO_2 فقیر است و همین عامل سبب رشد کرندوم و نیز اسپینل در حاشیه آندالوزیت شده است (واکنش‌های ۱ و ۲) که عامل اصلی ایجاد گدازه و بافت حاشیه‌ای در این زینولیت-هاست. بر اساس نتایج سنگ‌نگاری و واکنش‌های احتمالی، رشد کرندوم به دو صورت همراه با گدازه و در غیاب گدازه در این زینولیت‌ها صورت گرفته است. بنابراین این زینولیت‌ها احتمالا به دو صورت تشکیل شده‌اند:۱) باقیمانده‌ی دیرگداز ذوب بخشی هنگام تشکیل برخی از ماگماهای گرانیتی آناتکسی ۲) حاصل هضم سنگ‌های متاپلیتی (شیست‌های پلیتی و هورنفلس) پیرامون توده‌های گرانیتی می‌باشند.

نکته‌ی قابل توجه در این زینولیت‌ها، پایداری کانی آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت است. پایداری نمونه‌های دارای آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت در هاله‌های دگرگونی مجاورتی گزارش شده است [۲۲] که برهم‌چینی پله‌ای آندالوزیت نامیده می‌شود [۲۳]. ظاهراً هر قدر دوره‌ی دمای تحمیل شده به سنگ کم‌تر باشد دامنه‌ی برهم‌چینی پله‌ای بیشتر خواهد شد و به همین دلیل است که میزان آن در زینولیت‌ها، بیش‌تر از تمام موارد است [۲۳، ۲۴]. باتوجه به شکل ۹ و گرما و فشار محاسبه شده، به نظر می‌رسد که علل حضور پایدار کانی آندالوزیت در گستره‌ی سیلیمانیت در زینولیت‌های آستانه به دلیل انتقال سریع گرمای بالا از توده‌ی داسیتی به این سنگ‌ها است که سبب دگرگونی مجاورتی درجه بالا در آنها شده است و به علت انتقال سریع گرما و زمان کم، فرصت کافی برای تبدیل آندالوزیت به سیلیمانیت فراهم نبود، لذا کانی آندالوزیت به صورت پایدار در این زینولیت‌ها مشاهده می‌شود.

بحث و برداشت

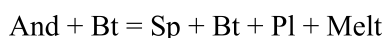
مجموعه‌ی سنگ‌های آذرین آستانه (جنوب غرب اراک) شامل توده‌ی گرانیتوئیدی با ترکیب تونالیت وگرانودیوریت (با ترکیب غالب گرانودیوریتی) و توده‌ی ریوداسیتی است. از نکات قابل توجه در سنگ‌های ریوداسیتی وجود برون‌بوم‌های آندزیتی حاوی اورتوپیروکسن (هیپرستن) و آمفیبول پارگازیتی است [۱۸].

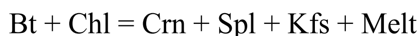
[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

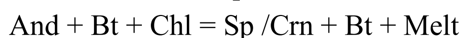


شکل ۹ الف) انواع رخساره‌های دگرگون [۲۵] که قرارگیری زینولیت‌ها در گستره‌ی رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس را نشان می‌دهد. ب). مسیر P-T در سیستم KFMASH زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه، منحنی‌های واکنش از [۲۶] است.

در زینولیت‌های حاشیه‌ی توده‌ی ریوداسیتی مجموعه کانی‌های کرندوم + اسپینل + آندالوزیت + فلدسپار پتاسیم‌دار + پلاژیوکلاز + مسکوویت + بیوتیت + کلریت با بافت‌های گرانوبلاستیک، لپیدوپورفیروبلاستیک، پورفیرولپیدوبلاستیک، سیمپلکتیت و پوئی کیلوبلاستیک دیده می‌شود. با توجه به این مجموعه کانی‌ها، منطقه‌ی کرندوم- اسپینل را می‌توان برای این سنگ‌ها در نظر گرفت. وجود کانی‌های کرندوم-اسپینل در این سنگ‌ها نشان دهنده رخساره پیروکسن-هورنفلس است که با فرآیندهای ذوب‌بخشی بدون شاره در ارتباط است. وجود گدازه نشان می‌دهد که سیمپلکتیک اسپینل-پلاژیوکلاز-بیوتیت به‌جای آندالوزیت در شرایط ذوب‌بخشی رخ داده است. واکنش‌های


And + Bt = Sp + Bt + Pl + Melt


Bt + Chl = Crn + Spl + Kfs + Melt


And + Bt + Chl = Sp /Crn + Bt + Melt

مهم‌ترین واکنش‌های گسترش گدازه‌ی در زینولیت‌های دگرگون شده منطقه‌ی آستانه است. نتایج دما-فشارسنجی حاصل از نرم‌افزار ترموکالک گستره‌ی دمایی $718\ ^{o}C$ و فشار ۲٫۸ kbar را نشان می‌دهد که نمایانگر شکل‌گیری این سنگ‌ها در یک هاله‌ی مجاورتی و تشکیل رخساره‌ی پیروکسن-هورنفلس است. بررسی‌های صحرایی، شواهد سنگ‌نگاری، شیمی کانی، واکنش‌های ذوب و دمای- فشارسنجی نشان می‌دهد که علت پایداری آندالوزیت در منطقه‌ی سیلیمانیت در زینولیت‌های منطقه‌ی آستانه، نرخ گرم شدگی سریع است. به عبارت دیگر این حادثه طی دگرگونی سریع رخ داده است. انتشار گرمای ناشی از توده‌ی ریوداسیتی سبب فرآیند دگرگونی گرمابی شده است به طوری که دوره‌ی دمایی تحمیل شده به این زینولیت‌ها کم و نرخ گرم شدگی زیاد بوده است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه لرستان به‌صورت طرح درون دانشگاهی با کد ۹۴۴۰۳۳۲۹۵ تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[۱] محجل م.، سهندی م.ر، *"تکامل تکتونیکی پهنهٔ سنندج-سیرجان در نیمهٔ شمال باختری و معرفی زیرپهنه‌های جدید در آن"*، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شمارهٔ ۳۲-۳۱ (۱۳۷۸) ص ۴۹ -۲۸.

[2] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M., *"U–Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj–Sirjan Zone, Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 41 (2011) 238-249.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

[۳] رادفر ج.، *"بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه- گوشه"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران (۱۳۶۶)، ۱۵۹ ص.

[۴]سپهوند ف.، *"ژئوشیمی و تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های دگرگونی منطقه آستانه (جنوب غرب اراک)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان (۱۳۹۲)، ۱۱۹ ص.

[۵] سهندی م.ر.، رادفر ج.، حسینی دوست س.ج.، محجل م.،"نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی شازند"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، برگ شماره ۵۸۵۷ (۱۳۸۵).

[۶] طهماسبی ز.، خلیلی م.، احمدی خلجی ا.، مکی زاده م.ع.، *"پتروژنز توده گرانیتوئیدی جنوب شازند (جنوب غرب اراک)"*، پترولوژی، شماره ۱ (۱۳۸۹) ص ۱۰۲-۸۷.

[7] Tabatabaei manesh S.M., *"Petrology of a polymetamorphic rocks in the central Zone of the Limpopo high-grade terrain, South Africa"*, Ph.D.Thesis, Moscow State University (2006) 184.

[8] Nakamura M., Shimakita S., *"Dissolution origin and Syn-entrapment compositional change of melt inclusions in plagioclase"*. Earth and Planetary Science Letters 161 (1998) 119-33

[9] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An introduction to the rock- forming minerals"*, 17th, Longman, Ltd(1991) 528.

[10] Speer J.A., *"Micas in igneous rocks"*, Review in Mineralogy 13 (1984) 299-356.

[11] Pflumio C., *"Evidences for polyphased oceanic alteration of the extrusive sequence of the Semail ophiolite from the Salahi Block (Oman)"*, in: Peters, T.J.(Eds), Ophiolite genesis and evolution in the oceanic lithosphere (1991) 313-351.

[12] Laird J., *"Chlorites: metamorphic petrology, In: Hydrous phyllosilicates (e.d Bailey, S. W.)"*. Reviews in Mineralogy 19 (1988) 405-453.

[13] Cathelineau M., *"Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature"*, Clay Minerals 23 (1988) 471-485.

[14] Deer W.A., Howie R. A.,Zussman J., *"Rock-forming minerals"*, 3rd Volume, Sheet silicates, Longman, London (1962).

[15] Vidal O., Parra T., *"Exhumation paths of high pressure metapelites obtained from local equilibria for chlorite- phengite assemblages"*, Geological Journal 35 (314) (2000) 139-161.

[16] Feenstra A., *"An EMP and TEM-AEM study of margarite, muscovite and f paragonite in polymetamorphic metabauxites of Naxos (Cyclades, Greece) and the implications of fine-scale mica interlayering and multiple mica generations"*, Journal of Petrology 37 (1996) 201-233.

[17] Holland T.J.B., Powell R., *"An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest"*, Journal of Metamorphic Geology 16 (1998) 309-343.

[۱۸] طهماسبی ز.، خلیلی م.، احمدی خلجی ا.، مکی زاده م.ع.، *"مقایسه انواع آمفیبول ها و ژئوترموبارومتری توده نفوذی آستانه (زون سنندج- سیرجان)"*، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲ (۱۳۸۸) ص۲۹۰-۲۷۹.

[19] NedelecA., Minyem D., Barbey P., *"High-P-high-T anatexis of Archean tonalitic grey gneisses: the Eseka migmatites, Cameroon"*, Precambrian Research 62 (1993) 191-205.

[20] Brown M., *"The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite-to-crustally-derived granite connection in thickened orogens"*, Earth Science Review 36 (1994) 83-130.

[21] Le Breton N., Thompson A. B., *"Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelite in the early stages of crustal anatexis"*, Contribution to Mineralogy and Petrology 99 (1988) 226–237.

[22] Pattison D. R. M., *"Stability of andalusite and sillimanite and the Al_2SiO_5 triple point: constraints from the Ballachulish aureole Scotland"*, Journal of Geology 100 (1992) 423–446.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.4.8.6]

[23] Cesare B., Gomez-Pugnaire M.T., Sanchez-Navas A., Grobety B., "*Andalusite – sillimanite replacement (Mazarrn - SE Spain): microstructural and TEM study",* American Mineralogy 87 (2002) 433-444.

[24] Cesare B., *"Multi-Stage pseudo orphic replacement of garnet during polymetamorphism: 2. Algebraic analysis of mineral assemblages",* Journal of metamorphic geology 17 (1999) 735-746.

[25] Vernon R.H., ClarkeG.L., *"Principles of Metamorphic petrology",* Cambridge university Press, New York (2008) 446.

[26] Spear F.S., Cheney J.T., *"A Petrognetic grid for pelitic schist in the system* SiO_2-Al_2O_3-*FeO-MgO*-K_2O-Na_2O*"*, Contribution to Mineralogy and Petrology (1989) 149-164.